

УДК 621.313.282.2: 621.313.17

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ДВУХКАТУШЕЧНОЙ СИНХРОННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МАШИНЕ С ИНЕРЦИОННЫМ РЕВЕРСОМ БОЙКА

Нейман Людмила Андреевна,

канд. техн. наук, доцент кафедры электротехнических комплексов
Новосибирского государственного технического университета, Россия,
630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: neyman@ngs.ru

Актуальность исследований обусловлена широкой возможностью регулирования выходных параметров – энергии удара и частоты ударов синхронных электромагнитных машин ударного действия, осуществляющих непосредственное преобразование электромагнитной энергии в импульс механической работы, совершаемой подвижной массой – бойком. Для реализации рабочего цикла используется система из двух катушек, обеспечивающих разгон ударной массы электромагнитными силами в прямом и обратном направлениях. По данному варианту схемы выполнены ударные узлы электромагнитных молотков ИЭ-4207, ИЭ-4210 и электромагнитных перфораторов ИЭ-4709, ИЭ-4724, ERP-1000, используемые при проведении строительного-монтажных работ. Несмотря на то, что данный вариант схемы давно известен и широко используется, вопросу анализа процесса преобразования электрической энергии в механическую работу за полный рабочий цикл не уделялось должного внимания.

Цель работы состоит в анализе процессов энергопреобразования в двухкатушечной синхронной электромагнитной машине с инерционным реверсом бойка.

Методы исследования основаны на использовании уравнения баланса энергии электромеханической системы и его отдельных составляющих за полный цикл работы ударного электропривода.

Результаты и выводы: Реализация рабочих циклов с использованием магнитной системы из двух катушек и инерционного реверса бойка обеспечивает разгон ударной массы электромагнитными силами в прямом и обратном направлениях за два импульса напряжения питающего источника. Использование известного способа управления позволяет уменьшить влияние работы электропривода на питающую сеть и обеспечивает устойчивый режим работы электропривода в широком диапазоне коэффициента отскока бойка от рабочего инструмента. На основании выполненного анализа энергопреобразования предложен новый способ управления электромагнитной машиной, который отличается от известного способа подачи за рабочий цикл трех импульсов напряжения источника промышленной частоты. Использование нового способа управления обеспечивает увеличение энергии удара и уменьшение влияния работы электропривода на питающую сеть.

Ключевые слова:

Синхронная электромагнитная машина, электропривод, рабочий цикл машины, баланс энергии электромеханической системы, энергия удара, инерционный реверс бойка, способ управления.

При разработке новых виброударных технологий широкое практическое применение получили электромагнитные машины ударного действия [1–11]. Среди данного класса машин как обладающих более высокими энергетическими показателями следует выделить синхронные электромагнитные машины ударного действия с энергией удара, не превышающей 50 Дж, и частотой хода бойка до 3000 ход/мин [12–19]. Для данного класса машин синхронная частота механических колебаний бойка может быть равна или кратна частоте питающей сети. Тенденция преимущественного применения вариантов схем синхронных электромагнитных машин ударного действия подробно рассмотрена в [15–18].

В настоящее время электромагнитные ударные машины значительно усовершенствованы, а некоторые из них доведены до серийного производства [13–15, 18].

Наибольшее распространение среди вариантов схем получили двухкатушечные синхронные электромагнитные машины с инерционным реверсом бойка. В качестве реверсирующего устройства используется массивный буфер, с помощью которого изменение направления движения бойка осуществляется за счет его соударения с большей массой, движущейся ему навстречу. По данному варианту схемы (рис. 1) выполнены ударные узлы электромаг-

нитных молотков ИЭ-4207, ИЭ-4210 и электромагнитных перфораторов ИЭ-4709, ИЭ-4724, ERP-1000, используемые при проведении строительного-монтажных работ [19].

Синхронизация возвратно-поступательного движения ударной массы – бойка с питающим напряжением источника, поочередно подаваемым на катушки, осуществляется при постоянном воздействии на боек электромагнитных сил. Реализация рабочих циклов с постоянным воздействием на боек электромагнитных сил позволяет получать устойчивые режимы работы в широком диапазоне коэффициента отскока бойка от рабочего инструмента за счет перекрытия времени действия электромагнитного усилия, создаваемого катушками рабочего и обратного хода [20].

Несмотря на то, что данный вариант схемы давно известен и широко используется, вопросу анализа процесса преобразования электрической энергии в механическую работу за полный рабочий цикл не уделялось должного внимания.

Целью настоящей работы является анализ процессов энергопреобразования в двухкатушечной синхронной электромагнитной машине с инерционным реверсом бойка.

В одном из приведенных вариантов схем на рис. 1 ударный узел, включающий в себя элементы магнитной и механической системы, содержит

рабочий инструмент – 1, определяющий ударную массу бойка – 2, магнитопровод – 3, намагничивающую систему, состоящую из катушек рабочего – 5 и обратного – 6 хода, и реверсирующее устройство, выполненное в виде массивного инерционного преобразователя – 7, поджатого буферной пружиной – 4.

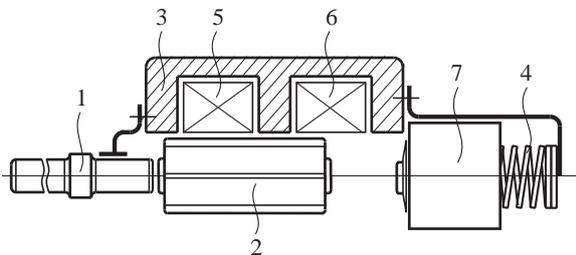


Рис. 1. Вариант ударного узла двухкатушечной синхронной электромагнитной машины с инерционным реверсом бойка

Fig. 1. Version of impact node in two-coil synchronous electromagnetic machine with head inertial reverse

Для реализации рабочего цикла используется система из двух катушек, обеспечивающих разгон ударной массы электромагнитными силами в прямом и обратном направлениях.

При подаче импульса напряжения на катушку – 5 рабочего хода бойка – 2 наносит удар по рабочему инструменту – 1 и после отскока разгоняется в обратном направлении под действием электромагнитных сил катушки – 6 обратного хода, нанося удар в конце хода по инерционному преобразователю – 7. После нанесения удара по инерционному преобразователю – 7 бойка – 2 отскакивает от него и под действием электромагнитных сил уже катушки – 5 рабочего хода ускоренно разгоняется в сторону рабочего инструмента – 1, вновь нанося по нему удар.

Одновременно после нанесения удара по инерционному преобразователю – 7 он отходит в противоположную движению бойка – 2 сторону и сжимает буферную пружину – 4, а после остановки под действием усилия сжатой пружины – 4 движется навстречу бойку – 2, возвращающемуся после удара по рабочему инструменту – 1. Далее цикл повторяется.

Следует отметить, что работа электромагнитной машины осуществляется при полной синхронизации по времени работы электрической, магнитной и механической подсистем ударного узла и питающего его источника напряжения.

Полный рабочий цикл ударного узла осуществляется за время одного периода напряжения питающего источника, что при частоте $f=50$ Гц обеспечивает синхронную частоту ударов бойка $n_{уд}$ и длительность времени рабочего цикла $t_{ц}$:

$$n_{уд} = \frac{60f}{2p} = 3000 \text{ уд/мин}; \quad t_{ц} = \frac{2p}{f} = 0,02 \text{ с},$$

где $2p=1$ – число периодов напряжения в течение времени рабочего цикла.

Питание электромагнитного двигателя наиболее просто может быть осуществлено от источника напряжения промышленной частоты по независимой для каждой катушки однополупериодной схеме выпрямления.

Энергопреобразование по свойственным рабочему циклу динамическим режимам и идентичности повторяющихся процессов рассмотрим на интервалах их следования согласно с рис. 2.

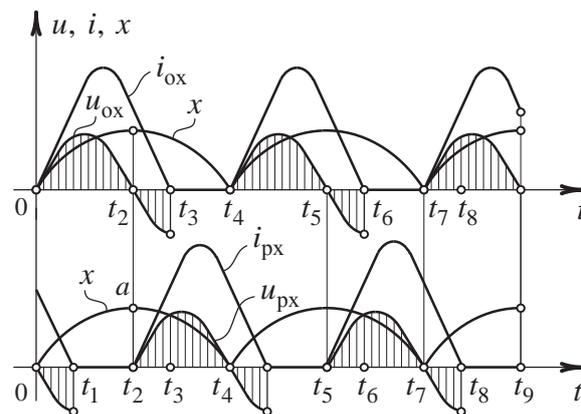


Рис. 2. Рабочий цикл двухкатушечной синхронной электромагнитной машины

Fig. 2. Working cycle of two-coil synchronous electromagnetic machine

Для упрощения анализа силами сопротивления движению бойка пренебрегаем. Также полагаем, что при условии цикличности работы на момент времени $t=0$ механическая система обладает определенным запасом кинетической энергии, приобретенной в предыдущем цикле при отскоке бойка от рабочего инструмента.

Первый этап рабочего цикла совместим со временем обратного хода бойка. Данный этап начинается с момента времени $t=0$ и совпадает со временем подачи импульса напряжения на катушку обратного хода в соответствии с рабочим циклом (рис. 2).

Период времени $0...t_2$ характеризуется ускоренным движением бойка под действием электромагнитных сил катушки обратного хода в направлении инерционного преобразователя.

Одновременно на интервале $0...t_1$ при выходе бойка из положения магнитного равновесия относительно полюсной системы катушки рабочего хода процесс энергопреобразования изменится на обратный. Данный период времени будет характеризоваться электромагнитным торможением бойка. Электрическая энергия из сети катушкой рабочего хода не потребляется. Механическая работа внешних сил, затраченная на преодоление электромагнитного торможения бойка, преобразуется в магнитную с последующим преобразованием в электрическую энергию и рекупируется обратно в сеть, компенсируя при этом энергию тепловых потерь в катушке рабочего хода. Уравнение энергетического баланса катушки

$$\Delta w_{м,рх}(x,t) + \int_0^{t_1} f_{эм,рх} v dt = \int_0^{t_1} i_{рх}^2 R_{рх} dt + \Delta w_{эл,рх}(x,t),$$

где $\Delta w_{м,рх}(x,t)$ – энергия магнитного поля катушки рабочего хода, запасенная в предыдущем цикле; $f_{эм,рх}$ – электромагнитная сила катушки рабочего хода; v – скорость движения бойка, $i_{рх}^2 R_{рх}$ – мощность тепловых потерь катушки рабочего хода; $\Delta w_{эл,рх}(x,t)$ – электрическая энергия, генерируемая обратно в сеть катушкой рабочего хода.

На интервале времени $0...t_2$ (рис. 2) движение бойка в направлении инерционного преобразователя осуществляется с некоторым запасом кинетической энергии, приобретенной после его отскока от рабочего инструмента. Электрическая энергия, потребляемая из сети катушкой обратного хода, расходуется на изменение кинетической энергии бойка при его ускорении, компенсацию энергии тепловых потерь и приращение энергии магнитного поля катушки, а также на компенсацию на интервале времени $0...t_1$ внешней силы электромагнитного торможения бойка катушкой рабочего хода. Для данного случая уравнение баланса энергий с учтенным запасом кинетической энергии при отскоке бойка от рабочего инструмента следует представить в виде

$$\int_0^{t_2} (u_{ох} i_{ох} - i_{ох}^2 R_{ох}) dt + \frac{mv_0^2}{2} = \int_{v=0}^{v_1} mvdv + \int_0^{t_1} f_{эм,рх} v dt + \Delta w_{м,ох}(x,t),$$

где $u_{ох} i_{ох}$ – мощность источника; $i_{ох}^2 R_{ох}$ – мощность тепловых потерь катушки обратного хода; $\frac{mv_0^2}{2}$ – кинетическая энергия бойка при отскоке от рабочего инструмента; m, v_0 – соответственно масса бойка и его начальная скорость; v_1 – скорость бойка в момент времени t_2 , $\Delta w_{м,ох}(x,t)$ – приращение энергии магнитного поля катушки обратного хода.

В уравнении баланса составляющая $\int_0^{t_1} f_{эм,рх} v dt$ определяет энергию, затраченную на компенсацию усилия электромагнитного торможения бойка катушкой рабочего хода, а составляющая $\int_{v=0}^{v_1} mvdv$ определяет кинетическую энергию бойка в конце интервала на момент времени t_2 , которую можно представить в виде

$$\int_{v=0}^{v_1} mvdv = \frac{mv_0^2}{2} + \int_0^{t_2} f_{эм,ох} v dt - \int_0^{t_1} f_{эм,рх} v dt,$$

где $\int_0^{t_2} f_{эм,ох} v dt$ – работа электромагнитных сил катушки обратного хода по увеличению кинетической энергии бойка и компенсации на интервале времени $0...t_1$ усилия электромагнитного торможения бойка.

Здесь следует отметить, что в зависимости от внешних условий, определяющих начальную скорость бойка v_0 при отскоке от рабочего инструмента, компенсация усилия электромагнитного торможения бойка катушкой рабочего хода может также происходить за счет составляющей кинетической энергии $\frac{mv_0^2}{2}$.

К моменту времени t_2 кинетическая энергия бойка достигает значения

$$\frac{m_n v_n^2}{2} = \int_{x_1}^{x_2} kx dx.$$

В точке a на кривой хода (рис. 2), соответствующей времени t_2 , выполняется реверс бойка и изменение скорости его перемещения на противоположную. При реверсе происходит энергообмен ударом между бойком и движущимся ему навстречу большей массы инерционным преобразователем, обладающим начальным запасом кинетической энергии.

При энергообмене ударом инерционный преобразователь также изменит свою скорость на противоположную, при этом кинетическая энергия преобразователя полностью переходит в потенциальную при сжатии демпферной пружины

$$\frac{m_n v_n^2}{2} = \int_{x_1}^{x_2} kx dx,$$

где k – коэффициент жесткости пружины; kx – усилие сжатия пружины; m_n, v_n – соответственно масса инерционного преобразователя и его начальная скорость в момент удара.

На интервале времени $t_2...t_3$ электрическая энергия катушкой обратного хода не потребляется. Процесс энергопреобразования изменится на обратный, так как внешние силы движущегося в сторону рабочего инструмента бойка, обладающего начальным запасом кинетической энергии, приобретенной в процессе энергообмена ударом, и электромагнитное усилие разворачивающегося электромагнитного поля катушки рабочего хода будут превышать усилие в рабочем зазоре катушки обратного хода, обладающей некоторым запасом магнитной энергии. Данный период времени будет характеризоваться электромагнитным торможением бойка. Механическая работа внешних сил, затраченная на преодоление электромагнитного торможения, преобразуется в магнитную энергию, пополняя имеющийся на данный момент времени запас магнитной энергии катушки с последующим ее преобразованием в электрическую энергию и рекуперацией в сеть, компенсируя при этом энергию тепловых потерь

$$\Delta w_{м,ох}(x,t) + \int_{t_2}^{t_3} f_{эм,ох} v dt = \int_{t_2}^{t_3} i_{ох}^2 R_{ох} dt + \Delta w_{эл,ох}(x,t).$$

В тот же период времени на интервале $t_2...t_4$ электрическая энергия поступает в катушку рабо-

чего хода и боёк ускоренно перемещается в направлении рабочего инструмента. При этом электрическая энергия, поступающая из сети, расходуется на изменение кинетической энергии бойка, компенсацию энергии тепловых потерь катушки, приращение энергии магнитного поля и компенсацию на интервале $t_2...t_3$ внешней силы при электромагнитном торможении бойка катушкой обратного хода

$$\int_{t_2}^{t_4} (u_{\text{рх}} i_{\text{рх}} - i_{\text{рх}}^2 R_{\text{рх}}) dt + \frac{mv_{\text{н}}^2}{2} = \int_{v=0}^{v_2} mv dv + \int_{t_2}^{t_3} f_{\text{эм.ох}} v dt + \Delta w_{\text{м.рх}}(x, t),$$

где $\frac{mv_{\text{н}}^2}{2}$ – приобретенная бойком кинетическая энергия при энергообмене ударом с инерционным преобразователем; $v_{\text{н}}$ – начальная скорость бойка.

По аналогии с энергопреобразованием на интервале времени $0...t_2$ составляющая $\int_{t_2}^{t_3} f_{\text{эм.ох}} v dt$,

входящая в уравнение энергобаланса, определяет энергию, затраченную на компенсацию электромагнитного торможения бойка катушкой обратного

хода, а составляющая $\int_{v=0}^{v_2} mv dv$ определяет кинетическую энергию бойка на момент удара по инструменту

$$\int_{v=0}^{v_2} mv dv = \frac{mv_{\text{н}}^2}{2} + \int_{t_2}^{t_4} f_{\text{эм.рх}} v dt - \int_{t_2}^{t_3} f_{\text{эм.ох}} v dt,$$

где $\int_{t_2}^{t_4} f_{\text{эм.рх}} v dt$ – работа электромагнитных сил катушки рабочего хода по увеличению кинетической энергии бойка и компенсации на интервале времени $t_2...t_3$ усилия электромагнитного торможения бойка катушкой холостого хода.

Компенсация усилия электромагнитного торможения бойка катушкой холостого хода может также осуществляться за счет составляющей кинетической энергии $\frac{mv_{\text{н}}^2}{2}$, входящей в уравнение энергобаланса.

В момент времени t_4 боёк наносит удар по рабочему инструменту. Далее цикл повторяется.

Кинетическая энергия бойка за полный цикл будет определяться энергией, приобретенной при энергообмене ударом с инерционным преобразователем, и работой электромагнитных сил катушки рабочего хода по увеличению кинетической энергии бойка при его ускорении в направлении рабочего инструмента

$$\frac{mv_{\text{уд}}^2}{2} = \int_{v=0}^{v_2} mv dv,$$

где $\frac{mv_{\text{уд}}^2}{2}$ – кинетическая энергия бойка, приобре-

тенная по завершению рабочего цикла; $v_{\text{уд}}$ – скорость бойка в момент удара по рабочему инструменту.

Следует учесть, что в момент удара бойка по рабочему инструменту передается только часть кинетической энергии, другая часть в виде кинетической энергии при отскоке бойка используется в следующем рабочем цикле энергопреобразования.

Энергия, передаваемая рабочему инструменту ударом, составляет

$$A_{\text{уд}} = (1 - k_{\text{от}}) \frac{mv_{\text{уд}}^2}{2},$$

где $k_{\text{от}} = \frac{v_0^2}{v_{\text{уд}}^2}$ – коэффициент отскока бойка от рабочего инструмента.

Величина кинетической энергии бойка при отскоке от рабочего инструмента будет соответствовать

$$\frac{mv_0^2}{2} = k_{\text{от}} \frac{mv_{\text{уд}}^2}{2}.$$

Реализация рабочего цикла позволяет получать частоту ударов, равную частоте питающей сети. Постоянное воздействие на боёк электромагнитных сил за счет перекрытия времени действия тягового усилия, с одной стороны, обеспечивает устойчивые режимы при работе в широком диапазоне изменений коэффициента отскока бойка от рабочего инструмента, с другой стороны, приводит к некоторому снижению коэффициента полезного действия, связанного с электромагнитным торможением бойка. Несмотря на электромагнитное торможение, КПД при данном способе управления может достигать относительно высоких значений в своем классе электромагнитных машин и составлять 31...45 % [2, 13, 15].

В сравнении с однокатушечными электромагнитными машинами при одинаковой частоте и энергии ударов использование рассмотренного рабочего цикла обеспечивает разгон ударной массы за два импульса тока. Это позволяет уменьшить влияние работы электропривода на питающую сеть, за счет снижения амплитуды тока до 35 %, а также за счет того, что в данном способе управления задействованы в равной степени обе полуволны напряжения питающего однофазного источника.

Применение двухкатушечной системы с инерционным преобразователем для реверса бойка позволяет получать ударную мощность за цикл, превосходящую импульсную мощность источника.

На основе изученного процесса энергопреобразования известного устройства предложен новый способ управления двухкатушечной электромагнитной машиной ударного действия с инерционным реверсом бойка, обеспечивающий снижение влияния работы электропривода на питающую

сеть, так как необходимая кинетическая энергия при ускорении бойка электромагнитными силами достигается за три импульса тока вместо двух в известном способе управления [21].

В предлагаемом способе управления первые две полуволны напряжения подаются на катушку обратного хода, а третья полуволна напряжения – на катушку рабочего хода, с повторением указанной последовательности чередования полувольт напряжений без паузы между циклами. В сравнении с известным способом управления аналогичной по конструкции двухкатушечной электромагнитной машиной с инерционным реверсом бойка новый способ управления при сохранении энергии удара обеспечивает уменьшение влияния работы электропривода на питающую сеть за счет ожидаемого снижения амплитуды тока до 35 %.

Выводы

1. Реализация рабочего цикла в двухкатушечной синхронной электромагнитной машине с инерционным реверсом бойка по сравнению с рабо-

чим циклом однокатушечной синхронной электромагнитной машины при одинаковой частоте и энергии удара позволяет уменьшить влияние работы электропривода на питающую сеть за счет снижения до 35 % амплитудного значения тока.

2. Вызванное рабочим процессом электромагнитное торможение бойка за счет перекрытия времени действия тяговых усилий катушек рабочего и обратного хода приводит к некоторому снижению коэффициента полезного действия электропривода, однако обеспечивает устойчивые режимы его работы в широком диапазоне изменений коэффициента отскока бойка от рабочего инструмента.
3. Реализация нового способа управления в варианте схемы двухкатушечной синхронной электромагнитной машины ударного действия с инерционным реверсом бойка обеспечивает уменьшение влияния работы электропривода на питающую сеть за счет подачи на катушки трех полувольт напряжения источника за время рабочего цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г. Импульсные линейные электромагнитные двигатели. – Курган: Изд-во КГУ, 2010. – 220 с.
2. Ряшенцев Н.П., Угаров Г.Г., Львицын А.В. Электромагнитные прессы. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 216 с.
3. Малинин Л.И., Нейман В.Ю. Предельные силовые характеристики электромагнитных двигателей постоянного тока // Электротехника. – 2009. – № 12. – С. 61–66.
4. Malinin L.I., Neyman V.Yu. Limiting power characteristics of direct-current electromagnetic motors // Russian Electrical Engineering. – 2009. – V. 80. – Iss. 12. – P. 701–706.
5. Способы повышения энергетических показателей однообмоточных импульсных устройств с электромагнитным возбуждением / В.Ю. Нейман, Д.М. Евреинов, Л.А. Нейман, А.А. Скотников, Ю.Б. Смирнова // Транспорт: Наука, техника, управление: Научный информационный сборник. – М.: Изд-во ВНИИТИ, 2010. – № 8. – С. 29–31.
6. Линейный электромагнитный двигатель: пат. РФ № 2405237; заявл. 27.05.09; опубл. 27.11.10, Бюл. № 33. – 6 с.
7. Нейман В.Ю. Интегрированные линейные электромагнитные двигатели для импульсных технологий // Электротехника. – 2003. – № 9. – С. 25–30.
8. Neyman V.Yu., Neyman L.A., Petrova A.A. Comparison of geometrically similar electromagnet systems by means of the constancy condition of heat criterion // Russian Electrical Engineering. – 2011. – V. 82. – Iss. 12. – P. 651–652.
9. On the question of taking into account the main dimensions when selecting type of electromagnet according to value of constructive factor / V.Yu. Neyman, L.A. Neyman, A.A. Petrova, A.A. Skotnikov, O.V. Rogova // Russian Electrical Engineering. – 2011. – V. 82. – Iss. 6. – P. 328–331.
10. Нейман В.Ю. Анализ процессов энергопреобразования линейных электромагнитных машин с аккумуляцией магнитной энергии в динамических процессах // Электротехника. – 2003. – № 2. – С. 30–36.
11. Кадышев А.И., Симонов Б.Ф., Нейман В.Ю. К вопросу расчета статических параметров электромагнитных машин ударного действия с большим воздушным зазором и распределенной н.с. // Автоматизированные электромеханические системы: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – С. 20–26.
12. Нейман Л.А. Анализ процессов энергопреобразования в однокатушечной синхронной электромагнитной машине с двухсторонним выбегом бойка // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 112–116.
13. Угаров Г.Г., Нейман В.Ю. К оценке режимов работы электромагнитных ударных машин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1996. – № 4. – С. 72–80.
14. Ряшенцев Н.П., Тимошенко Е.М., Фролов А.В. Теория, расчет и конструирование электромагнитных машин ударного действия. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1970. – 260 с.
15. Угаров Г.Г., Нейман В.Ю. Тенденция развития и применения ручных ударных машин с электромеханическим преобразованием энергии // Известия вузов. Электромеханика. – 2002. – № 2. – С. 37–43.
16. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Скотников А.А. Структурный анализ синхронных электромагнитных машин ударного действия // Автоматизированные электромеханические системы: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – С. 106–121.
17. Нейман В.Ю. К вопросу о рационализации рабочих процессов и выбора конструктивных схем электромагнитных ударных машин // Автоматизированные электромеханические системы: коллективная монография / под ред. В.Н. Аносова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – С. 155–170.
18. Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Скотников А.А. Тенденции в развитии конструкций синхронных двухобмоточных электромагнитных машин для импульсных технологий // Актуальные проблемы энергетики АПК: Матер. II Междунар. научн.-практ. конф. – Саратов: Изд-во СГАУ, 2011. – С. 271–277.
19. Электропривод с линейными электромагнитными двигателями // Н.П. Ряшенцев, Г.Г. Угаров, В.Н. Федонин, А.Т. Малов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 150 с.
20. Перьев А.А. Обоснование технических характеристик ручных электромагнитных машин с повышенной энергией ударов // Импульсные линейные электрические машины: Сб. науч. тр. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1991. – С. 71–80.
21. Способ управления двухкатушечным электромагнитным двигателем ударного действия: пат. РФ № 2472243; заявл. 10.06.11; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1. – 6 с.

Поступила 27.01.2014 г.

UDC 621.313.282.2: 621.313.17

ANALYSIS OF ENERGY CONVERSION IN DOUBLE-COILED SYNCHRONOUS ELECTROMAGNETIC MACHINE WITH HEAD INERTIAL REVERSE

Lyudmila A. Neyman,

Cand. Sc., Novosibirsk State Technical University, 20, Karl Marx Prospect,
Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: neyman@ngs.ru

Relevance of the research is caused by the capability of monitoring output parameters – impact energy and frequency of synchronous impact electromagnetic machine. Such machines transform directly electromagnetic energy to a moving head mechanical work impulse. The operation cycle is implemented by the system of two windings providing direct and reverse impact mass acceleration by electromagnetic forces. According to the proposed scheme variant the impact nodes have been made for the electromagnetic hammers IE-4207, IE-4210 and the electromagnetic perforators IE-4709, IE-4724, ERP-1000 applied in building and construction works. In spite of the fact that the mentioned scheme is wide-spread and well-known for a long time the electrical energy conversion to mechanical work for the total operating cycle was not analyzed in details.

The main aim of the research is to analyse energy transformation in a two-winding synchronous electromagnetic machine with head inertia reverse.

Research methods are based on application of electromechanical system energy balance equation and its separate components over the impact electric drive total operation cycle.

Results and summary. Due to implementation of operation cycles using the two-winding magnetic system and head inertia reverse the impact mass is accelerated forward and backward by electromagnetic forces for two power supply voltage pulses. The known control method allows reducing electric drive effect on power grid, and provides electric drive stable operation in a wide range of head from tool withdrawal factor. A new method of controlling electromagnetic machine is proposed on the basis of energy transformation analysis. The proposed method differs from the known one in using three power-line voltage pulses during the operation cycle. The new control method helps impact energy increase, reducing electric drive influence on the power grid.

Key words:

Synchronous electromagnetic machine, electric drive, machine operation cycle, electromechanical system energy balance, impact energy, head inertial reverse, control method.

REFERENCES

1. Neyman V.Yu., Moshkin V.I., Ugarov G.G. *Impulsnyye lineynye elektromagnitnyye dvigateli* [Pulsed electromagnetic linear motors]. Kurgan, KGU Press, 2010. 220 p.
2. Ryashencev N.P., Ugarov G.G., Lvitsyn A.V. *Elektromagnitnyye pressy* [Electromagnetic press]. Novosibirsk, Nauka Publ. (Sib. Otdelenniy), 1989. 216 p.
3. Malinin L.I., Neyman V.Yu. Predelnye silovye kharakteristiki elektromagnitnykh dvigateley postoyannogo toka [Maximum permissible power characteristics of DC electromagnetic motors]. *Elektrotehnika*, 2009, no. 12, pp. 61–66.
4. Malinin L.I., Neyman V.Yu. Limiting power characteristics of direct-current electromagnetic motors. *Russian Electrical Engineering*, 2009, vol. 80, Iss. 12, pp. 701–706.
5. Neyman V.Yu., Evreinov D.M., Neyman L.A., Skotnikov A.A., Smirnova Yu.B. Sposoby povysheniya energeticheskikh pokazateley odnoobmotochnykh impulsnykh ustroystv s elektromagnitnym vzbuzhdeniem [Ways to improve energy performance of indices of single-winding pulsed devices with electromagnetic excitation]. *Transport: Nauka, tekhnika, upravlenie: Nauchny informatsionnyy sbornik*. Moscow, VINITI Press, 2010. No. 8, pp. 29–31.
6. Neyman V.Yu., Smirnova Yu.B., Petrova A.A., Evreinov D.M. *Lineynyy elektromagnitnyy dvigatel* [Linear electromagnetic motor]. Patent RF, no. 2405237, 2010.
7. Neyman V.Yu. Integrirovannyye lineynyye elektromagnitnyye dvigateli dlya impulsnykh tekhnologii [Integrated linear electromagnetic motors with pulse technology]. *Elektrotehnika*, 2003, no. 9, pp. 25–30.
8. Neyman V.Yu., Neyman L.A., Petrova A.A. Comparison of geometrically similar electromagnet systems by means of the constancy condition of heat criterion. *Russian Electrical Engineering*, 2011, vol. 82, Iss. 12, pp. 651–652.
9. Neyman V.Yu., Neyman L.A., Petrova A.A., Skotnikov A.A., Rogova O.V. On the question of taking into account the main dimensions when selecting type of electromagnet according to value of constructive factor. *Russian Electrical Engineering*, 2011, vol. 82, Iss. 6, pp. 328–331.
10. Neyman V.Yu. Analiz protsessov energopreobrazovaniya lineynykh elektromagnitnykh mashin s akkumulirovaniem magnitnoy energii v dinamicheskikh protsessakh [Analysis of energy conversion of linear electromagnetic machines with magnetic energy accumulation in dynamic processes]. *Elektrotehnika*, 2003, no. 2, pp. 30–36.
11. Kadyshchev A.I., Simonov B.F., Neyman V.Yu. K voprosu rascheta staticheskikh parametrov elektromagnitnykh mashin udarnogo deystviya s bolshim vozdushnym zazorom i raspredelennoy n.s. [On the issue of calculating static parameters of electromagnetic machines percussion with a large air gap and distributed m.f.]. *Avtomatizirovannyye elektromekhanicheskiye sistemy*. Novosibirsk, NGTU Press, 2010. pp. 20–26.
12. Neyman L.A. Analiz protsessov energopreobrazovaniya v odnokatushechnoy sinkhronnoy elektromagnitnoy mashine s dvukhstoronnim vybegom boyka [Analysis of energy conversion in single-coil electromagnetic synchronous machine with two-sided striker coasted]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 4, pp. 112–116.
13. Ugarov G.G., Neyman V.Yu. K otsenke rezhimov raboty elektromagnitnykh udarnykh mashin [On evaluation of electromagnetic modes of shock machines]. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 1996, no. 4, pp. 72–80.
14. Ryashencev N.P., Timoshenko E.M., Frolov A.V. *Teoriya, raschet i konstruirovaniye jelektromagnitnykh mashin udarnogo deystviya* [Theory, calculation and design of electromagnetic machines Impact]. Novosibirsk, Nauka, Sib. otd-nie, 1970. 260 p.
15. Ugarov G.G., Neyman V.Yu. Tendentsiya razvitiya i primeneniya ruchnykh udarnykh mashin s elektromekhanicheskim preobrazovaniem energii [The trend of developing and applying hand drum machines with electromechanical energy conversion]. *Izvestiya vuzov, Elektromekhanika*, 2002, no. 2, pp. 37–43.

16. Neyman V.Yu., Neyman L.A., Skotnikov A.A. Strukturny analiz sinkhronnykh elektromagnitnykh mashin udarnogo deystviya [Structural analysis of synchronous electromagnetic percussion machines]. *Avtomatizirovannye elektromekhanicheskie sistemy*. Novosibirsk, NGTU Press, 2011. pp. 106–121.
17. Neyman V.Yu. K voprosu o ratsionalizatsii rabochikh protsessov i vybora konstruktivnykh skhem elektromagnitnykh udarnykh mashin [On the issue of rationalization of work processes and selection of design schemes of electromagnetic drum machines]. *Avtomatizirovannye elektromekhanicheskie sistemy: Kollektivnaya monografiya*, [Automated electromechanical systems. Monograph]. Ed. by V.N. Anosov. Novosibirsk, NGTU Press, 2004, pp. 155–170.
18. Neyman V.Yu., Neyman L.A., Skotnikov A.A. Tendentsii v razviti-tii konstruktsiy sinkhronnykh dvukhobmotochnykh elektromagnitnykh mashin dlya impulsnykh tekhnologiy [Trends in development of structures of synchronous two-winding machines for electromagnetic pulse technology]. *Aktualnye problemy energetiki APK: Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual problems of energy APC: Proc. of the II International. research conference]. Saratov, SGAU Prtess, 2011. pp. 271–277.
19. Ryashentsev N.P., Ugarov G.G., Fedonin V.N., Malov A.T. *Elektroprivod s lineynymi elektromagnitnymi dvigatelyami* [Electric drive with linear electromagnetic motors]. Novosibirsk, Nauka publ., 1981. 150 p.
20. Pereva A.A. Obosnovanie tekhnicheskikh kharakteristik ruchnykh elektromagnitnykh mashin s povyshennoy energiyey udarov [Justification of specifications of manual electromagnetic machines with high energy shock]. *Impulsnye lineynye elektricheskie mashiny*. Novosibirsk, IGD SO AN SSSR, 1991. pp. 71–80.
21. Neyman V.Yu., Skotnikov A.A., Neyman L.A., Smirnov Yu. *Sposob upravleniya dvukhkatushechnym elektromagnitnym dvigatelem udarnogo deystviya* [Method for controlling an electromagnetic two-coil impact motor]. Patent RF, no. 2472243, 2013.

Received: 20 January 2014.